

# 区域地质灾害风险评估模型的初建 ——以广州市崩塌灾害为例

谢久兵<sup>1,2</sup>, 朱照宇<sup>1</sup>, 周厚云<sup>1</sup>, 欧阳婷萍<sup>1</sup>

(1. 中国科学院广州地球化学研究所 边缘海地质重点实验室, 广州 510640; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

**摘 要:** 地质灾害的研究必须基于其自然和社会经济的双重属性特征, 并把它作为一项系统工程来研究; 风险评估是这系统工程中不可或缺的重中之重内容, 也是新世纪地质灾害防灾减灾领域的前沿和热点。鉴于地质灾害风险评估研究现状, 初步探讨了区域地质灾害风险评估模型的构建, 即基于格网单元的地质灾害危险性评价、基于行政单元的社会经济易损性评价和基于危险度和易损度乘积的区域风险评估。同时以广州市崩塌灾害为例, 采用该模型进行评估并取得了良好的效果。

**关键词:** 地质灾害; 风险评估模型; 危险性评价; 易损性评价; 崩塌

**中图分类号:** P642 21; K903

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1001 - 5221 (2006) 02 - 0114 - 05

地质灾害是指在地球的发展演化进程中, 由于地质作用 (自然的、人为的或综合的) 使地质环境产生突发或渐进的破坏, 并造成了人类生命财产及其赖以生存发展的资源环境损失的灾害性地质现象或事件。地质灾害灾种很多, 主要包括地震、火山、崩塌、滑坡、泥石流、地面沉降、地面塌陷、地裂缝、矿井突水、水土流失、软土沉陷、砂土液化、地方病、海水入侵、特殊土灾害等几十种<sup>[1-3]</sup>。它在历史上带给了人类无尽的伤痛, 而今人类活动随其规模与强度的不断增大, 正越来越深刻的干预着地球表层演化的自然进程, 导致地质灾害发生频率越高、影响范围越广、造成的危害越严重。在一些脆弱的区域内, 它已经成为一个影响和制约社会经济发展不可忽视的因素。因而加强地质灾害的综合研究, 协调好人口、资源、环境与经济社会发展的关系, 是人类社会可持续发展的必由之路之一。

## 1 地质灾害风险评估研究概况

地质灾害具有自然性和社会经济性的双重属性特征, 自然属性是指与地质灾害的动力过程有关的各种自然特征如规模、强度、频次以及灾害活动的孕育条件、变化规律等, 社会经济属性主要指与成灾活动密切相关的人类社会经济特征如人口财产分布、工程建设活动、资源开发、经济发展水平等<sup>[4]</sup>。鉴于地质灾害的双重属性特征, 针对它的研究也应从

这两类基本属性入手。虽然国内外对地质灾害研究的历史非常久远, 但在 1970 年以前, 地质灾害主要限于灾害机理及形成条件的研究, 尤其是单体或单灾种的定性研究; 1970 年以后, 随着地质灾害损失的日益严重和相关学科理论技术的发展, 地质灾害研究领域拓宽, 开始进行风险评估研究。如美国首先对加州的地震、滑坡等 10 种灾害进行了风险评估, 此后日本、英国等发达国家也加强了对地质灾害基本属性的综合研究。与此相适应, 相关的研究机构、学术会议、刊物、研究领域等不断增加, 譬如联合国国际减灾十年 (DNDR) 在规划的 3 项时事中的第一项就是进行风险评估, 即评价危险性和脆弱性。在中国, 对地质灾害的研究也正从单纯研究灾害形成机理等自然属性转变到同时注重对社会经济属性的全面研究, 其中以对地震、滑坡等灾种研究最多。随着新世纪的到来, DNDR 已完成其历史使命, 在其总结报告中列出了 21 世纪国际减灾界面临的 5 个挑战性领域, 其中就有 3 个与灾害风险问题密切相关。联合国新发布实施的《国际减灾战略》中也明确其主要目标之一是加强灾害风险评估和风险管理<sup>[5-6]</sup>。现代防灾减灾强调多种措施相互配合, 即对地质灾害的研究必须包括监测、预报、防灾、抗灾、灾害评估、救灾、灾害恢复与重建、规划与指挥、教育与立法、保险与基金、减灾科学技术等各子系统在内的一项复杂系统工程。这些子系统的优化组合

收稿日期: 2005 - 09 - 30; 修订日期: 2006 - 01 - 08

基金项目: 广东省重大科技专项项目 (2002B30905); 广东省重点自然科学基金 (021446); 广东省自然科学基金团队项目 (04201163)

作者简介: 谢久兵 (1978 - ), 男, 湖南冷水江市人, 博士研究生, 主要研究方向为地质灾害风险评估, (Email) xiejb21@gig.ac.cn

配置,必须构成一个完整的行为过程。地质灾害评估是贯穿于系统工程中不可或缺的一项重要内容,而灾害预评估又是重中之重,它是对一个区域或一个灾害点事件的危险程度和可能造成的损失程度的预测性评价,即地质灾害风险评估。国内外大量减灾实践表明,防灾减灾3大对策体系——监测预报体系、防御体系和紧急救援体系——在时间域与空间域上的优化配置和有效建设组织,都需要以正确的灾害风险评估成果为基本依据。而人类社会的可持续发展更是迫切需要知道在何时何地,采取何种措施才能经济、有效地减轻灾害的制约和影响,因而地质灾害风险评估研究就显得十分必要且重要。风险评估按评估范围或面积分为点评估和区域评估,本文在此仅论述区域地质灾害风险评估及探讨其模型的构建。

## 2 区域地质灾害风险评估模型构建

### 2.1 基本概念

风险是指在一定区域和时期内发生的各种可能的变动程度,其本质是不确定性,是一种期望值,或者说是含有概率的预测值,而不是实际值<sup>[7-9]</sup>。风险的定量表达即风险度,风险评估的主要功能就是进行风险度大小的比较和风险区划成图,为区域发展提供背景资料,为决策者提供决策基础和理论依据。灾害风险的定义和定量表达多种多样,如“风险是某一灾害发生概率与灾害发生后果的规模的结合,风险度=概率×结果”;“风险是某一灾害发生后所造成的损失,风险度=危险度+易损度”等等。这些虽都有些不尽合理,但为以后风险度的定量研究奠定了基础。联合国人道主义事务部后来正式公布了自然灾害风险的定义:“风险是在一定区域和给定时段内,由于某一自然灾害而引起的人们生命财产和经济活动的期望损失值,相应的风险度表达式为:风险度=危险度×易损度,或 $R=H \times V$ ”<sup>[10]</sup>。这一定义与表达较为全面地反映了风险的本质特征,危险度 $H$ (Hazard)反映灾害的危险程度,是灾害规模和发生概率的函数,是衡量对自然属性特征如灾害规模、频次、孕育条件等进行评价的尺度,相应的评价称为灾害危险性评价或致灾体危险性评价;易损度 $V$ (Vulnerability)表明社会经济易损程度及人类社会应对灾害的能力,是衡量对受威胁对象人口、财产、经济、资源和环境进行评价的尺度,相应的评价即社会经济易损性评价或承灾体易损性评价;风险度 $R$ (Risk)则是灾害自然属性和社会经济属性的结合统一体,表达为危险度和易损度的乘积。上

述定义与表达式已得到国内外许多学者和国际组织机构的认同,当然也得到国际地质灾害研究领域的普遍赞同,成为对地质灾害危险性、易损性和风险评估的基本通用模式<sup>[11]</sup>。

### 2.2 风险评估模型的构建

区域地质灾害风险评估模型由3个模块组成,即地质灾害危险性评价、社会经济易损性评价和区域地质灾害风险评估。

2.2.1 基于格网单元的地质灾害危险性评价 地质灾害危险性分为历史灾害危险性和潜在灾害危险性,前者指已发灾害的活动程度,评价要素为灾害规模、频次、密度等;后者指具有灾害形成条件但尚未发生的灾害危险性,评价要素包括地质、地形地貌、气候、水文、植被和人类活动等各种基础条件与诱发条件<sup>[12-14]</sup>。区域评价就是对某一地区内(至少1个县或几十平方公里)单种或多种地质灾害的评价。首先在评价中按照少而精、实用易操作、数据易获取等原则配置指标,建立指标体系的层次结构并将指标量化分级或形成指标影响因子图。然后再计算指标的权重,权重的确定方法分为主观赋权法和客观赋权法两类<sup>[15]</sup>,主要有专家打分、模糊聚类、AHP层次分析、因子分析、特尔菲咨询、灰色关联分析、证据权重、隶属函数法等等,单纯某一方法要么主观性太大,要么太依赖于数学模型,得出的权重值有些片面。而将两类赋权法结合,就可以弥补单一的不足,做到主观与客观、定性与定量的融合。其中专家打分——层次分析法就是一种优化的主客观融合定权法,首先确定专家组,再将所有评价因子的判断矩阵表格发给每位专家,并说明矩阵的意义与判断方法。然后请各专家按A. L. Satty的“1-9标度”法两两比较后得出各自的矩阵并认真核实其准确性,把所有表格集中,采用统计方法综合分析数据并构造出综合判断矩阵,并将其公布给全体专家以征求意见,如此反复核对修改直至得出满意的综合矩阵。利用层次排序法求矩阵的值并进行一致性(CI)、随机性(RI)与随机一致性比率(CR)的检验以得到最终合理的权重。

在上述基础上将研究区域划分为若干个评价单元<sup>[16]</sup>进行评价,评价单元的划分主要有格网单元、地域单元、均一条件单元、子流域单元和斜坡单元5种。它们或以规则网格,或以自然单元、行政区等来剖分区域,在危险性评价中格网单元是非常合适的。但格网的大小必须根据研究区域的特点、研究精度、比例尺等因素来决定,太小则增加数据处理难度,太

大又不能满足精度要求。最后建立评价模型,利用它对评价区域进行定量研究,确定每一个格网单元的危险度,并进行危险性分区与区划成图。应用于地质灾害危险性评价的成熟模型有很多<sup>[17-18]</sup>,如模

糊数学综合评判、多元回归分析、信息量法、人工神经网络、遗传算法、灰色系统、层次分析、可拓学、多层栅格数据复合叠置分析法等等。地质灾害危险性评价工作流程如图 1。

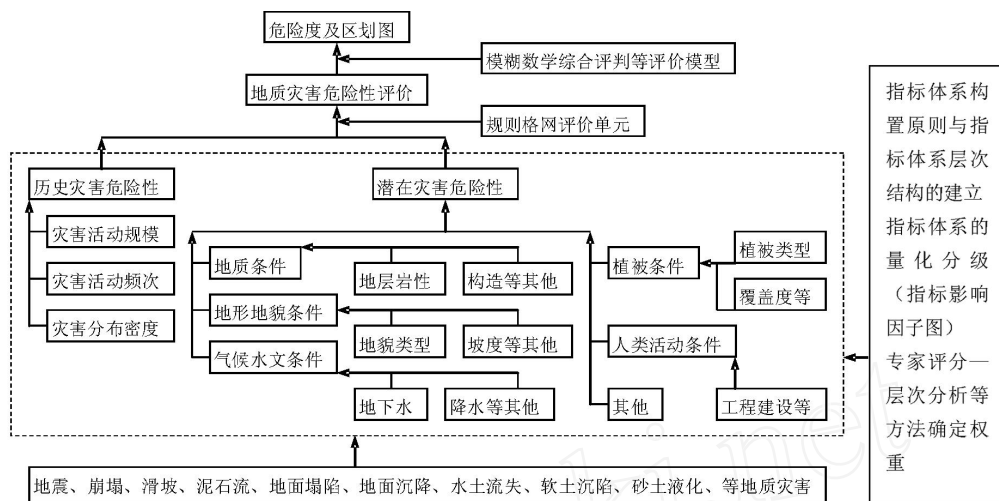


图 1 区域地质灾害危险性评价工作流程图

Fig 1 The flow chart of regional geological hazard risk assessment

2.2.2 基于行政单元的社会经济易损性评价 社会经济易损性评价由承灾体自身条件和社会经济条件所决定。由于区域评价中承灾体具体数据获取难,基于行政单元(县级市、县、市辖区)的区域易损性评价较好,并通过社会经济统计指标来表征区域易损性,如人口密度、地均 GDP、经济发展水平、城

市建成区面积、耕地面积密度、单位面积货(客)运量、人均用电量、人口素质、人均保险金额、人均工资等<sup>[18-19]</sup>。在社会经济易损性评价中采用的权重确定方法和评价的数学模型或方法与地质灾害危险性评价中利用的一样。社会经济易损性评价工作流程如图 2。

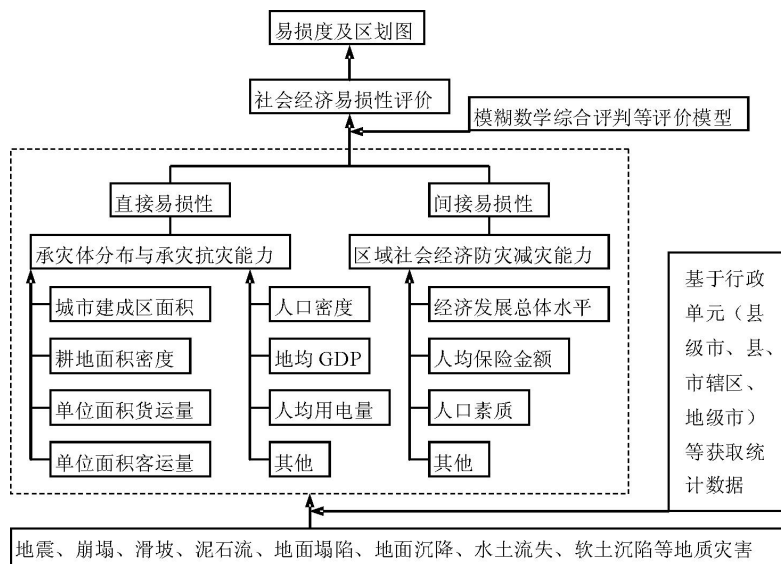


图 2 区域地质灾害易损性评价工作流程图

Fig 2 The flow chart of regional geological hazard vulnerability assessment

2.2.3 区域综合地质灾害风险评估 风险评估是在危险性评价和易损性评价的基础上进行的<sup>[20-24]</sup>。

根据危险性评价得出的定量值——危险度(危险性等级量化)和易损性评价结果——易损度(易损性等级量化),利用公式  $R = H \times V$  计算风险度,定量评价过程中, $R$ 、 $H$ 、 $V$ 均设在 $[0, 1]$ 范围内取值,并进行风险性等级划分,形成风险区划图,从而为区域地质灾害防灾减灾提供决策依据。风险评估的最终结果也将为地质灾害监测、预报、防灾、抗灾等提供基础资料,为政府决策部门和领导提供决策信息。

### 3 广州市崩塌灾害风险评估

广州市位于广东沿海的珠江三角洲经济区,其气候主要受副热带高压控制,属于亚热带季风气候。由于雨量充沛、暴雨频繁,山地、丘陵和台地风化壳深厚,三角洲和滨海平原软土发育,故经常发生各种地质灾害。此外,由于经济高速发展、人口增长和生态恶化,灾害发生频率、影响范围与危害程度均呈长势。现利用上述评估模型对广州市频发的崩塌灾害进行风险评估。

依据上述的技术方法和路线,并设计好崩塌灾害评价所需的指标并采用专家打分——层次分析法确定了权重,然后采取模糊数学综合评判对研究区崩塌灾害的危险性、易损性与风险性进行评价,得到危险度、易损度和风险度结果,并进行区划成图等。最后结合历史崩塌数据对评估结果进行检验。实践证明评估结果与野外实际情况良好吻合,即广州市崩塌灾害在空间上的分布特征:从化、花都、增城属于高危险和高风险区,而广州市区(除花都区之外的其余9个区)虽然易损性等级很高,但其危险性等级很低,因而没有太大的风险;其次,崩塌灾害高危险区与高风险区主要分布于历史崩塌灾害点和一些主要水利工程附近,说明除了自然因素的作用外,人为的工程、资源开发等人类活动对诱发崩塌等地质灾害有重大影响。再者,据历史崩塌数据,崩塌主要发生在广州市的北部、西部和东部,即丘陵台地区,而南部的番禺区等地(以平原为主)基本上无崩塌灾害,即属于极低等级。从评估效果得知,潜在的崩塌灾害高风险区也正是这些地区,因而在以后要做好防治规划。由此可见,本模型在区域地质灾害的危险性、易损性与风险评估中具有较强的实用性和可操作性,评估结果能为区域防灾减灾提供基础资料,为决策层提供决策信息。

## 4 结论

通过对国内外地质灾害风险评估研究现状的分析,本文构建了区域综合地质灾害风险评估模型,并初步应用于广州市的崩塌灾害风险评估实践中。当前无论是从国内还是世界范围看,地质灾害风险评估是一个刚兴起的领域,而对大范围区域性的多种地质灾害进行综合风险评估势在必行。本文初步构建的基于地质灾害双重属性研究的模型具有很好的可操作性和实用前景。随着GIS在地质灾害研究中的应用潜力不断拓展,基于GIS技术的风险评估是发展趋势之一。毫无疑问,本模型的建立也必须是依托于GIS,利用其强大的属性数据管理和空间分析功能等实现本模型评估中的数据处理和分析,并利用VB、VC++等高级语言编程实现将权重确定方法和所选数学评价模型很好的应用到风险评估模型和GIS中。当然,无论是危险性评价还是易损性评价和风险评估,都有待于在实践中检验和发展,有待于人类对地质灾害本质属性认识的进一步深化而不断发展完善的。

### 参考文献:

- [1] 潘懋,李铁锋. 灾害地质学[M]. 北京:北京大学出版社,2002.
- [2] 张梁,张业成,罗元华. 地质灾害灾情评估理论与实践[M]. 北京:地质出版社,1998.
- [3] 詹文欢,钟建强,刘以宣. 华南沿海地质灾害[M]. 北京:科学出版社,1996.
- [4] 张梁,张建军. 地质灾害风险区划理论与方法[J]. 地质灾害与环境保护,2000,11(4): 323 - 328.
- [5] 史培军. 三论灾害研究的理论与实践[J]. 自然灾害学报,2002,11(3): 1 - 9.
- [6] 苏桂武,高庆华. 自然灾害风险的分析要素[J]. 地质前缘,2003,10(特刊): 272 - 279.
- [7] 刘希林,莫多闻. 泥石流风险及沟谷泥石流风险度评价[J]. 工程地质学报,2002,10(3): 265 - 273.
- [8] 黄崇福. 自然灾害风险分析的基本原理[J]. 自然灾害学报,1999,8(2): 21 - 30.
- [9] 魏一鸣,金菊良,杨存建,等. 洪水灾害风险管理理论[M]. 北京:科学出版社,2002.
- [10] 朱良峰,殷坤龙,张梁,等. 基于GIS技术的地质灾害风险分析系统研究[J]. 工程地质学报,2002,10(4): 428 - 433.
- [11] 史培军. 再论灾害研究的理论与实践[J]. 自然灾害学报,1996,5(4): 6 - 17.
- [12] 朱照宇,黄宁生,周厚云,等. 广东沿海陆地表层地质灾害控制因素分析[J]. 地球学报,2003,24(3): 243 - 248.
- [13] 朱照宇,周厚云,黄宁生,等. 广东沿海陆地地质灾害区划[J]. 地球学报,2001,22(5): 453 - 458.
- [14] 朱照宇,谢先德,黄宁生,等. 广东沿海区域可持续发展中的地

- 质灾害防治[J]. 水文地质工程地质, 2003, 30(1): 22 - 25.
- [15] 周爱国, 蔡鹤生. 地质环境质量评价理论与应用[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1998.
- [16] 兰恒星, 王岑涓, 周成虎. 地理信息系统支持下的滑坡灾害分析模型研究[J]. 工程地质学报, 2002, 10(4): 421 - 427.
- [17] 向喜琼, 黄润秋. 基于 GIS 的人工神经网络模型在地质灾害危险性区划中的应用[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2000, 11(3): 23 - 27.
- [18] 李辉霞, 陈国阶. 可拓方法在区域易损性评判中的应用——以四川省为例[J]. 地理科学, 2003, 23(3): 335 - 341.
- [19] 樊运晓, 罗云, 陈庆寿. 区域承灾体脆弱性评价指标体系研究[J]. 现代地质, 2001, 15(1): 113 - 116.
- [20] 唐川, 朱大奎. 基于 GIS 技术的泥石流风险评价研究[J]. 地理科学, 2002, 22(3): 300 - 304.
- [21] 刘希林. 泥石流风险区划研究[J]. 地质力学学报, 2000, 6(4): 37 - 42.
- [22] Kong W K. Risk assessment of Slopes[J]. Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, 2002, 35: 213 - 222.
- [23] Noman Ferrier, Emdad Haque C. Hazards risk assessment methodology for emergency managers: a standardized framework for application[J]. Natural Hazards, 2003, 28: 271 - 290.
- [24] Dai F C, Lee F C, Ngai Y Y. Landslide risk assessment and management: an overview[J]. Engineering Geology, 2002, 64: 65 - 87.

## Establishment of the Model for Regional Geological Hazard Risk Evaluation ——A Case Study of Collapses in Guangzhou

XIE Jiu-bing<sup>1,2</sup>, ZHU Zhao-yu<sup>1</sup>, ZHOU Hou-yun<sup>1</sup>, OUYANG Ting-ping<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Marginal Sea Geology, Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Science, Guangzhou 510640, China; 2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

**Abstract:** The studies on geological hazards should be based on the characters of their natural and social-economic attributes, and should be treated as a systematic engineering. Risk evaluation is one of the most important parts of the engineering, and is also a frontier and hot point in geological hazard reduction fields. In this paper a regional geological hazard risk evaluation model is established and discussed. The model includes three modules, which are hazard assessment based on net cell, vulnerability assessment based on administrative cell, and risk evaluation based on the product of hazard and vulnerability. As an example, the model is utilized to evaluate the collapse hazard risk in Guangzhou and good results have been achieved.

**Key words:** Geological hazards; Risk evaluation model; Hazard assessment; Vulnerability assessment; Collapse

## 《地理学与国民经济建设》专著面世

日前,由广州地理所陈朝辉研究员所著的《地理学与国民经济建设》一书由中国评论学术出版社出版发行,本书将作者多年撰写发表的部分论文及报刊文章、访谈汇集成本,涉及综合类、国土整治与规划、山区开发和保护、海洋海岛开发保护、城市化问题、土地利用与耕地保护、农村和农业、环境保护和建设等八个方面的研究成果及学术观点,全书约 60 万字。

作者主要从事综合地理学、土地资源、农业自然资源开发与生产布局、自然生态环境保护与建设及区域可持续发展研究,曾主持 80 余项科研项目,获各类奖项 44 项,发表论文 160 多篇,享受国务院政府特殊津贴、获得省科技突出贡献奖和“广东省有突出贡献专家”称号。该著作不仅是作者长期从事科研工作的回顾,也从另一个侧面反映了地理科研在服务于国民经济建设中所发挥的积极作用。

(广州地理研究所 裘钢)